

CONECTIVIDAD ECOLÓGICA HORIZONTAL Y VERTICAL

FRANCISCO DÍAZ PINEDA¹, MARÍA FE SCHMITZ¹,
ITZIAR DE ARANZABAL¹, SANTIAGO HERNÁNDEZ², CARMEN BAUTISTA¹
Y PEDRO AGUILERA³

RESUMEN

Se ha estudiado el funcionamiento del paisaje con perspectiva sistémica y expresándolo en términos cartesianos. El objetivo de fondo es la conservación de la naturaleza, asumiéndose que quizá no debiera seguir considerándose la idea con el objetivo básico de delimitar espacios naturalísticamente valiosos, pues, reconociéndose el importante logro que representa disponer de 'espacios naturales protegidos', el concepto de sistema debe llavarse a la práctica de una vez. Tanto la gestión de la 'trama ecológica natural', que nunca queda limitada a los límites de un espacio protegido, como la consideración de las poblaciones humanas deben entrar a formar parte decididamente de los objetivos de la conservación.

La conectividad se concibe como un proceso 'horizontal' y 'vertical'. El primero lo constituye un conjunto de fenómenos físicos y biológicos que generan conexiones espaciales a manera de trama o tejido territorial. En la conectividad se han incluido también procesos 'verticales', derivados de la interacción entre la estructura del paisaje y la socioeconómica, asumiéndose que buena parte del funcionamiento de los hoy llamados 'sistemas socioecológicos' deriva de la interdependencia entre ambas estructuras. Se ha llevado a cabo una descripción de estos procesos de manera simple, mediante modelos cartográficos previamente ensayados, ecuaciones sencillas de regresión, superficies de tendencia y productos de matrices de datos.

En el estudio se ha considerado la relevancia de la ampliación de la red de carreteras 2000-2025 del territorio español, que constituye un ejemplo de interferencia entre las citadas infraestructuras naturales y rurales y esta red artificial, identificándose puntos de 'tensión' entre ambas, modelizándose y cartografiándose los costes ambientales o 'impactos' derivados de esta interferencia.

Se han analizado también lagunas legales detectadas al tratar de aplicar estas ideas a la conservación de la naturaleza y a la planificación ambiental, indicándose las posibilidades de adaptación y aplicación de leyes y normativas a estos nuevos objetivos.

Palabras clave: flujos físicos, flujos energéticos, permeabilidad biológica territorial, ralentización de flujos, interacción malla ecológica-redes de infraestructuras humanas, socioecosistemas, interacción territorio-'oferta y demanda' del paisaje.

¹ Francisco Díaz Pineda, Departamento de Ecología, Universidad Complutense de Madrid, pacodi@bio.ucm.es
María Fe Schmitz, Departamento de Ecología, Universidad Complutense de Madrid, ma296@bio.ucm.es
Itziar de Aranzabal, Departamento de Ecología, Universidad Complutense de Madrid, ayla@bio.ucm.es
Carmen Bautista, Departamento de Ecología, Universidad Complutense de Madrid, edueco@bio.ucm.es

² Santiago Hernández, Departamento de Proyectos, Escuela de Ingeniería de Obras Públicas, Universidad de Cádiz, sahf@infonegocio.com

³ Pedro Aguilera, Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Almería, aguilera@ual.es

SUMMARY

We studied landscape functioning from a systematic perspective, expressing it in Cartesian terms. Our fundamental idea involves nature conservation, as we assume that this idea should not continue to consist basically of delimiting naturally valuable spaces, because the important achievement of availing of 'protected natural areas' having been recognised, the idea of a system should be put into practice for once and for all. Conservation objectives should include both management of the 'natural ecological mesh' and consideration of local human populations.

Connectivity is conceived as a 'horizontal' and 'vertical' process. In the first case, a set of physical and ecological phenomena is considered, these generating spatial connections in the shape of mesh or territorial tissue. 'Vertical' processes have also been included in connectivity, these deriving from the interaction between the landscape and socioeconomic structures, it being assumed that much of the functioning of what are now known as 'socio-ecological systems' derives from the interdependence between both structures. We provided a simple description of these processes, using previously tested cartographic models, simple regression equations, trend surfaces analysis and products of data matrices.

In our study we considered the relevance of enlarging the Spanish 2000-2025 roads network, this constituting an example of interference between the above mentioned natural and rural infrastructures and this network, and we identified points of 'tension' between them and modelled and mapped the environmental costs or 'impacts' deriving from this interference.

We also analysed the legal shortcomings we detected upon attempting to apply these ideas to nature conservation and environmental planning, indicating the possibilities for adaptation and application of laws and regulations in relation to these new objectives.

Key words: physical flows, energy flows, territorial biological permeability, flow deceleration, interaction between ecological meshes and networks of human infrastructures, socio-ecosystems, interaction between territory and landscape 'offer and demand'.

INTRODUCCIÓN

Se ha presentado al Organismo Autónomo Parques Nacionales (OAPN, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid) el proyecto 239/03-34-03 sobre 'conectividad ecológica territorial'. La referencia constante del proyecto ha sido el paisaje, tal como lo entienden algunos ecólogos (GONZÁLEZ BERNÁLDEZ *et al.* 1973; PINEDA *et al.* 1974; GONZÁLEZ BERNÁLDEZ 1981), que también fue su hilo conductor. La tarea desarrollada adopta sobre éste una perspectiva cartesiana, es decir, una representación espacial de la idea de paisaje como algo tangible y zonificable en el espacio. Esto es una cosa bastante común hoy en varias especialidades del conocimiento, entre las que se incluye la ecología, quizá sobre todo a partir de los trabajos de R. FORMAN y M. GO-

DRON (1981; 1986), pero que apenas ha abordado por el momento una perspectiva sistémica, aunque se hable mucho de ella, es decir, un punto de vista orientado al funcionamiento de lo que hay 'debajo' del paisaje. El proyecto contempla una parte de este funcionamiento y se basa en tres razones, todas ellas relativas al reto que constituye la conservación de la naturaleza en la actualidad. La primera es la delimitación de los espacios que se consideran naturalísticamente más valiosos, dignos de mantener al margen de actividades humanas que transforman severamente el medio. La segunda razón es la conservación de la 'trama' ecológica territorial, sobre todo considerando el problema de la integración en esta trama de las redes de infraestructuras humanas de transporte, cada vez más complejas y dinámicas. Esta razón deja un poco en entredí-

cho a la anterior, que mantiene la idea de conservar mediante la creación de 'espacios protegidos' dentro de unos límites perfectamente definidos en un mapa. La tercera es la interdependencia entre la estructura de las sociedades humanas y la del territorio en que habitan, lo que también constituye una red, esta vez de tipo socioecológico.

La idea de fondo es la conservación de la naturaleza, asumiéndose que quizá no debiera seguir considerándose que ésta consista básicamente en delimitar aquellos espacios pues, reconociéndose el importante logro que representa disponer de ellos, la idea de 'sistema' debe llavarse a la práctica de una vez, y tanto la gestión de la trama territorial como la consideración de las poblaciones humanas locales deben entrar a formar parte de la conservación. Ésta es en realidad un problema de gestión de procesos ecológicos, tanto naturales como culturales, en los cuales se basa el uso de los recursos naturales.

Contexto de una aplicación de la ciencia

La conectividad territorial es una clave importante de la ecología del paisaje que tiene hoy efectos multiplicativos. En la historia reciente se ha considerado la conectividad ecológica como un proceso 'horizontal', es decir, como un conjunto de fenómenos físicos y ecológicos que generan conexiones espaciales a manera de trama o tejido territorial (GLAZOVSKAYA 1963; SOLNTSIEV 1974). El interés de quienes suscriben en este tema (ver PINEDA & SCHMITZ 2003) data de 1978, cuando la Administración española encargó a un equipo de investigadores un estudio sobre la posibilidad de crear un nuevo Parque Nacional en el centro de España (GONZÁLEZ-BERNÁLDEZ 1980; DÍAZ-PINEDA & PECO 1988). BENNETT (1991) se interesó más recientemente en trasladar la idea a amplios territorios, considerando que las conexiones espaciales, entendidas a manera de 'corredores biológicos', interesaban como objetivo básico de la conservación de la biodiversidad. La idea se ha desarrollado también en un marco menos preocupado por el espacio y más centrado en las conexiones interespecíficas que configuran a las comunidades biológicas y a su estabilidad como

características propias de una red (JORDANO *et al.* 2003; BASCOMPTE *et al.* 2006). C. HERRERA fue probablemente el impulsor en España de los fundamentos de esta preocupación entre los biólogos. La conectividad tratada en el proyecto ahora resumido se basa sin embargo, más bien en procesos físicos, sin olvidar los biológicos. Más recientemente, en la conectividad se han incluido procesos 'verticales', derivados de la interacción entre la estructura física del territorio y la socioeconómica (SCHMITZ *et al.* 2003; SCHMITZ *et al.* 2005; DE ARANZABAL *et al.* 2008), asumiéndose que buena parte del funcionamiento de los hoy llamados 'sistemas socioecológicos' deriva de la interdependencia entre ambas estructuras. Este tipo de conectividad se incluyó también como tarea del proyecto.

Hace tiempo que la Administración española mostró su interés en el tema (SUÁREZ CARDONA 1989; MÚGICA *et al.* 2002; GARCÍA MORA 2003). La Junta de Andalucía se interesó también en él a partir de un simposio celebrado en Almería en 2002, que facilitó al equipo que suscribe el inicio de esta línea de trabajo, así como a diferentes equipos de científicos, técnicos y humanistas. Varios investigadores continúan con la idea aplicándola en diferentes contextos (MÚGICA *et al.* 2002; RUIZ-LABOURDETTE *et al.* 2002; JUNTA DE ANDALUCÍA 2007; MARTÍN-LÓPEZ *et al.* 2007; DÍAZ-PINEDA 2010a,b).

Se entiende que los fenómenos mencionados, tanto naturales como culturales, son determinantes para el conocimiento del paisaje y del territorio, para su gestión y para su conservación dentro y, sobre todo, fuera de los límites de los 'espacios naturales protegidos'. Desde la creación norteamericana del primer Parque Nacional en 1872 (Yellowstone), estos espacios siguen siendo hoy en día el más efectivo logro de la conservación de la naturaleza, pero los fenómenos aludidos son los que confieren al territorio el funcionamiento propio de un tejido (GLAZOVSKAYA 1963; SOLNTSIEV 1974; BENNETT 1991; PINEDA & SCHMITZ 2003) cuyo mantenimiento es lo que constituye en realidad la conservación del paisaje, de las poblaciones y comunidades biológicas, de la diversidad que mantienen, de sus especies emblemáticas y de cuantos valores

naturales y rurales culturales reconocen los conservacionistas en particular y las sociedades cultas en general.

Conectividad física y sociocultural

La imagen que un observador percibe de su entorno se conoce como 'paisaje'. Esa imagen es polisensorial (PINEDA *et al.* 1974; SANCHO ROYO 1974; GONZÁLEZ BERNÁLDEZ 1981; PINEDA 2003a) aunque la referencia al sentido de la vista sea la comúnmente utilizada. El paisaje puede considerarse como un concepto antropocéntrico: la imagen construida conscientemente o no en la mente de un ser humano a partir del conjunto de objetos que percibe en su entorno. También constituye una idea etnocéntrica. Para entender bien el paisaje, para conservarlo y para gestionarlo como recurso, debería recurrirse al análisis del conjunto más completo posible de fenómenos físicos y procesos ecológicos del entorno. De todos ellos depende la imagen percibida. F.G. BERNÁLDEZ (1981) llamaba a ese conjunto 'criptosistema', o sistema oculto a los sentidos, y al paisaje 'fenosistema', a semejanza del término biológico fenotipo. "El paisaje es la manifestación sensorialmente perceptible de una trama de relaciones subyacente". Los sentidos del observador no acceden, o no acceden fácilmente, a esta red. Por ejemplo, la relación entre el carbono y el nitrógeno del suelo no puede percibirse con ningún sentido, ni el comportamiento del pH del agua, la tasa de natalidad de las poblaciones biológicas o la trascendencia de las fechas de las fiestas tradicionales de una comarca. Circunstancias como éstas explican sin embargo, cada una en su medida, el paisaje resultante.

La gestión del paisaje es en el fondo la misma idea que la conservación de 'la naturaleza', que pocas veces es enteramente salvaje. Las características geóticas, biológicas, rurales y culturales tradicionales que interesan a los conservacionistas dependen realmente del mantenimiento de esos fenómenos y procesos. Sin esto la naturaleza, el mundo salvaje o el rural cultural se convierten con facilidad en parques zoológicos, granjas, jardines botánicos o simples museos al aire libre. Tales creaciones humanas a veces no

están nada mal pero casi nadie las reconocería propiamente como logros de la conservación. En el paisaje entran en conexión flujos energéticos y materiales entre unas porciones del espacio y otras. El paisaje es también consecuencia de actividades humanas características de las diferentes culturas, de manera que, en cualquier espacio intervenido por el hombre pueden imaginarse planos de interdependencia superpuestos que corresponden respectivamente a la estructura del paisaje y de la socioeconomía y que son difíciles de separar. La Figura 1 es un esquema de las ideas comentadas.

La conectividad horizontal y la vertical se han estudiado en el proyecto citado en diferentes territorios piloto. Los fenómenos físicos horizontales contemplados fueron los derivados de la topografía, el clima y las fases iniciales del ciclo hidrológico en su ruta continental. Los biológicos se centraron en fronteras ecológicas asimétricas -contactos entre formaciones vegetales de diferente grado de desarrollo (acumulación de biomasa, producción y desarrollo edáfico)-, así como en el comportamiento previsible de algunos componentes conspicuos de la fauna ante la presencia de infraestructuras humanas de transporte. La síntesis cartográfica de esto constituyó un objetivo nuevo que se presume de interés para la conservación de la naturaleza. El estudio de esta conectividad se ha llevado a cabo en Andalucía oriental, donde pueden hacerse comparaciones dentro de un marco climático y geográfico apropiado para el ensayo.

Por su parte, la conectividad vertical se ha formalizado como relación canónica entre la estructura socioeconómica de la población local de varios territorios piloto y su estructura paisajística (Fig. 1a₁, b₁). Esta conectividad se ha estudiado en sitios con diferentes contextos geográficos y socioeconómicos. Ambos tipos de conectividad se han descrito de manera simple, mediante modelos cartográficos previamente ensayados, ecuaciones sencillas de regresión y superficies de tendencia (SCHMITZ *et al.* 2003; SCHMITZ *et al.* 2005; DE ARANZABAL *et al.* 2008; RUIZ-LABOURDETTE *et al.* 2009, 2010; PINEDA *et al.* 2006).

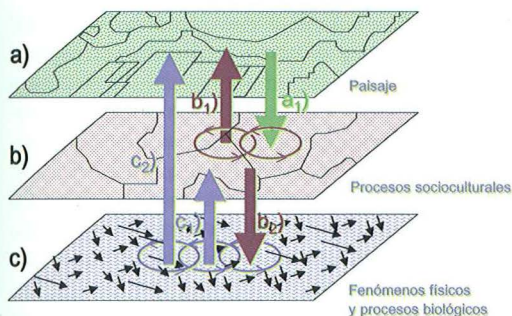


Figura 1. Esquema con tres planos correspondientes a un mismo territorio entre los que existe cierta interdependencia. En el primero (a) aparecen delimitadas ‘unidades’ de paisaje. El segundo (b) representa la socioeconomía; las unidades delimitadas pueden corresponder a municipios o entidades de población donde se encuentran registrados datos de carácter socioeconómico. El tercer plano (c) representa la trama ecológica –‘socioecológica’– de ese territorio, de la que se han separado idealmente los planos anteriores. Las flechas representan la influencia de un plano sobre otro. a_1 indica el condicionante que el paisaje impone a la población humana –en tiempos remotos serían sólo condicionantes naturales de tipo geótico y biológico; más tarde participarían también condicionantes culturales (paisaje cultural)–. b_1 representa la influencia de los procesos socioculturales sobre el paisaje, que modifican en mayor o menor medida su carácter natural transformándolo en paisaje cultural. b_2 indica, igualmente, la influencia humana sobre los procesos físicos y biológicos del espacio contemplado. c_1 y c_2 representan, respectivamente, el condicionante de la trama de relaciones ecológicas sobre el sistema socioeconómico y sobre el paisaje, considerado aquí como resultado de todo este proceso.

Figure 1. Diagram presenting three planes, corresponding to one single territory, among which there is a certain degree of interdependence. The first one shows (a) the demarcated landscape ‘units’. The second one (b) represents socio-economy; the demarcated units can correspond to municipalities or to populations for which socioeconomic data have been recorded. The third plane (c) represents the ecological –‘socio-ecological’– mesh or network of the territory, from which the previous planes should ideally be separated. The arrows represent the influence of one plane over another. a_1 indicates the conditioning factor of landscape with regard to human populations –in ancient times these would only be natural conditioning factors of a geotic and biological nature, subsequently, cultural conditioning factors (cultural landscape) would also come into play–. b_1 represents the influence of socio-cultural processes on landscape, as these can modify to a greater or lesser extent its natural character, changing it into a cultural landscape. Likewise, b_2 indicates human influence on the physical and biological processes of the space considered, and c_1 and c_2 represent, respectively, the effects of the mesh of ecological relations upon the socioeconomic system and on the landscape, considered here as the result of this whole process.

Por otra parte, se consideró la relevancia de la ampliación de la red de carreteras 2000-2025 del territorio español, que constituye un ejemplo de interferencia con las citadas infraestructuras naturales y rurales (HERNÁNDEZ & PINEDA 1998; SEIT 1999; DE JUANA *et al.* 1999). Se tipificó, pues, en un territorio piloto, la red de infraestructuras de transporte humano –autopistas y autovías, carreteras y vías rápidas y caminos y vías pecuarias– y se estudió su interferencia en la conectividad ecológica territorial para un conjunto de características propias de tales infraestructuras, identificándose puntos de ‘tensión’ entre ambas. A partir de ello, se han modelizado y cartografiado los costes ambientales o ‘impactos’ derivados de esta interacción, detectándose los componentes clave del impacto y estableciéndose, con esta referencia, algunas directrices para la ‘permeabilización’ de las infraestructuras artificiales, aminorándose o eliminándose sus interferencias. Finalmente, se han analizado también lagunas legales detectadas al tratar de aplicar estas ideas a la conservación de la naturaleza y a la planificación ambiental, proponiéndose unas bases mínimas para la adaptación jurídica a estos objetivos.

La conectividad en la interpretación del territorio

Un recorrido por casi cualquier territorio permite entender que las infraestructuras de transporte humano son causantes de las principales afectaciones de la conectividad ecológica territorial (FORMAN *et al.* 2003). Estas infraestructuras son elementos decisivos de la ordenación del territorio que deben, por tanto, incorporar en su diseño y desarrollo la idea de conectividad ecológica para no producir interferencias espaciales graves. En la concepción de estas infraestructuras la transdisciplinariedad es un soporte esencial del renombrado desarrollo sostenible. Hay precedentes sobre esta preocupación (FORMAN & GODRON 1981; DE ARANZABAL *et al.* 2008; SANCHÓ ROYO 1974; PINEDA 1988; PINEDA & BARTUREN 1988). Con intereses muy centrados en la conectividad biológica –particularmente en la movilidad de la fauna a través de ‘corredores’–, existen también numerosos trabajos (ROSELL *et al.* 2003; HILTY *et al.* 2006; HER-

VÁS *et al.* 2006; ÁLVAREZ *et al.* 2006; BAGUETTE & VAN DYCK 2007; LIMBORG *et al.* 2007). La red ecológica que generan las conexiones territoriales naturales y rurales culturales ofrece interesantes posibilidades para un desarrollo racional de las infraestructuras de transporte (FORMAN & GODRON 1981; FORMAN *et al.* 2003; BENNETT 1994; NOWICKI *et al.* 1996].

Conectividad versus conexiones territoriales

La conectividad (“la capacidad de conexión entre computadoras”; MONTALVO 1998), representa teóricamente la interacción entre distintos sistemas. El concepto es tema recurrente en ecología (NEUMANN & MORGENSTERN 1953; RAPOPORT 1970; PAINE 1974; CONNELL 1978; ALLEN & STARR 1982) y ha sido relacionado con la dinámica y estabilidad de los sistemas ecológicos, la diversidad biológica, la función de ésta y la complejidad espacial (MARGALEF 1991; NAEEM *et al.* 1994; RESCIA *et al.* 1994; RUITER *et al.* 2005; BASCOMPTE *et al.* 2006). La conexión se manifiesta a través de flujos de materia y energía y también mediante intercambios de información. La conservación de la naturaleza tiene mucho que ver con la voluntad expresa de mantener interacciones de este tipo, pero es muy frecuente ignorar, o no considerar, que las conexiones ecológicas no conciernen sólo a relaciones biológicas, como las que mantienen un depredador y su presa –la ‘parte viva’ de los ecosistemas–, sino que los flujos energéticos y materiales conciernen también a las interacciones que ocurren en el medio físico y a las del mundo biológico con éste. Frecuentemente no son siquiera relaciones tróficas, sino meramente físicas (la evaporación del agua del suelo depende del calentamiento de éste por la radiación solar, la actividad descomponedora de las bacterias del suelo depende también del calentamiento solar de éste, aunque obviamente deben existir procesos biológicos que generen la materia orgánica que descomponer). En el proyecto presentado al OAPN se extrapola esta idea al territorio, que es una red de relaciones espaciales basadas en conexiones de unas porciones con otras cercanas o muy lejanas. No se trata de una trama relacional en la que todo puede conectarse directamente con todo, sino jerárquica. Si se formalizan las co-

nexiones que permiten contactos ‘horizontales’ entre dos puntos cercanos se tiene una caracterización dinámica del territorio de utilidad para conservar la naturaleza. El conjunto de conexiones resultante permite visualizar una trama territorial bastante compleja en espacios extensos. Algo parecido a lo que ocurre con los contactos entre dos neuronas de un animal y en todo su sistema nervioso. La idea asumida concuerda con conceptos establecidos sobre la dinámica geótica y ecológica territorial en los que han insistido diferentes autores (GONZÁLEZ BERNÁLDEZ 1981; FORMAN & GODRON 1981; GLAZOVSKAYA 1963; SOLNTSIEV 1974; FORTESCUE 1980; BUREL & BAUDRY 2001; PINEDA *et al.* 2002a). El tejido territorial se entiende así como un conjunto jerárquico de estructuras ligadas a flujos. Tales procesos pueden explicarse gracias a fenómenos abióticos y biológicos, estando aún poco formalizados y cuantificados en términos cartográficos, sobre todo a escalas comarcales, aunque hay un excelente conocimiento de las cuencas hidrográficas con planteamientos ecológicos que son buenos ejemplos de formalización del tejido territorial (LÓPEZ CADENAS 1994; GESSNER & CHAUVET 2002; LASSALETTA *et al.* 2009; ELOSEGI & SABATER 2009).

En el proyecto se ha caracterizado la conectividad horizontal cuantificándose estos fenómenos en una regilla cuyas celdas permiten expresar cartográficamente la resultante de diferentes tipos de conexiones espaciales. Se trata de las que ocurren sobre todo en los contextos siguientes (PINEDA *et al.* 2002a): i) El ‘monte’ y otros tipos de formaciones forestales que conservan ciertas especies emblemáticas dependientes de habitats extensos (ROSELL *et al.* 2003; VAN DER ZANDE 1980). ii) Estructuras lineales de distintos tipos. En la montaña, la dificultad del acceso humano termina manteniendo relativamente aislados a estos sitios, por donde pueden migrar animales sensibles a ruidos y trasiegos humanos; ocurre algo parecido en cauces y sistemas riparios con bosques y otras formaciones propias de sotos más o menos desarrollados. A lo largo de los ríos, los bosques de galería contribuyen a este entramado y pueden actuar también como corredores (STERLING 1996). iii) Sistemas de ladera (todo el territorio lo es en realidad) donde ocurren flujos de agua y

materiales desde las zonas altas a las bajas. En el paisaje tradicional las partes altas contienen sistemas más maduros, como bosques y matorrales, con menor tasa de renovación y mayor persistencia de la materia orgánica en el suelo, fertilizadora natural de las partes bajas de ladera. A veces hay discontinuidades o fronteras asimétricas separando porciones del espacio con diferentes acumulos de biomasa y producción. iv) Sistemas discontinuos de recarga y descarga de aguas subterráneas; humedales hipogénicos que pueden ser observados más claramente en los extensos territorios de las cuencas sedimentarias de los grandes ríos (BERNÁLDEZ 1993; REY BENAYAS 1990). Queda aún mucha tarea pendiente en la toma de conciencia sobre la incorporación de estas ideas a la conservación de la naturaleza (LLAMAS 1988; PFADENHAUER & GROOTJANS 1999; HRUBY 1999). v) Sistemas de dunas móviles, deltas y sistemas de marismas de distintos tipos. Su mantenimiento depende de fenómenos esencialmente físicos, y también de procesos ecológicos sucesionales. vi) Comarcas con patente implantación de sistemas agrarios de base tradicional, con reticulados a base de setos y ribazos (SCHMITZ *et al.* 2007a) donde las conexiones espaciales las proporciona la propia gestión agraria (movimiento del ganado, trasiego de materiales y animales, abonados, etc.). En estos sistemas puede incluirse la antigua red de vías pecuarias ('cañadas', 'cordeles', 'veredas') que todavía existe bien conservada (probablemente no actúen como auténticos corredores, sino más bien como refugios para organismos expulsados de campos de cultivo y terrenos agrarios explotados).

El procedimiento práctico seguido para analizar la conectividad horizontal partió de la recopilación de datos e información cartográfica disponibles y de recorridos de campo mediante rutas programadas. Los datos fueron utilizados tanto para elaborar un mapa ecológico estructural de base como para analizar específicamente la conectividad y elaborar sus correspondientes mapas en función de variables geóticas (altitud, pendiente del terreno, orientación, tipología climática, tipos litológicos y geomorfológicos, tipología edáfica/capacidad potencial de infiltración y retención del agua en las laderas) y ecológicas (madurez de la vegetación, biomasa, producción,

tasa de renovación, asimetría de fronteras entre comunidades vegetales descritas con estos parámetros y movilidad de medio centenar de especies singulares de la fauna).

El procedimiento seguido se basó en estimar cualitativamente y cartografiar, mediante una función integradora, los componentes de la conectividad. Las variables comentadas han servido para caracterizar estos componentes, registrados inicialmente en cuadrículas de 2x2 km y posteriormente en ensayos piloto más detallados (100x100 m). El tratamiento de la información y su proyección cartográfica se basó en ARCVIEW (1996) y SURFER (2002), incorporándose las dimensiones suministradas en forma vectorial y representando sobre un mapa la dirección y magnitud de los flujos estimados a partir de las variables comentadas.

Aunque la interacción entre las diferentes variables es lo que determina la 'red de relaciones ecológicas espaciales', el papel de cada una de ellas se trató individualmente, considerando constantes a las restantes y estimando la contribución particular de cada una de ellas a la conectividad horizontal resultante. Ésta no se ha obtenido, sin embargo, como una yuxtaposición o suma de estas contribuciones parciales sino mediante su integración como un vector. Su cálculo siguió procedimientos adecuados a cada uno de los tipos de conectividad horizontal considerados: i) la resultante de la interacción entre fenómenos físicos esencialmente ligados a la circulación del agua, ii) la debida a procesos biológicos condicionados por la presencia de fronteras asimétricas y iii) la debida al trasiego de la fauna. De cada uno de los tres procesos se obtuvieron mapas temáticos. En cada uno de ellos se analizaron posteriormente las interferencias entre la conectividad ecológica y las infraestructuras humanas de transporte, estimándose el coste ambiental o 'impacto' por ruptura de la conectividad ecológica debido a esta última.

Cartografía de la conectividad horizontal. Esta conectividad se ha representado mediante vectores que relacionan entre sí diferentes puntos del territorio, siguiéndose un procedimiento general basado en la generación de una malla o 'grid' de

dimensiones x,y,z, compuesto por 'nodos' o puntos de intersección de las coordenadas de los datos correspondientes a esas dimensiones (SURFER 2002). La información contenida en los nodos de los 'grids' permitió obtener mapas de vectores, cuya magnitud y dirección sintetizan la conectividad resultante en cada punto del territorio. El procedimiento es un cálculo diferencial de un gradiente de variación de las características ligadas a los nodos, por medio de derivadas parciales direccionales (SCHWARTZ 1974), considerando la información asociada a las coordenadas espaciales de cada uno de los nodos y de sus vecinos. La definición del gradiente siguió la expresión:

$$\|\vec{g}\| = \sqrt{\left[\frac{\partial z}{\partial x}\right]^2 + \left[\frac{\partial z}{\partial y}\right]^2}$$

donde, g es la magnitud del gradiente, x e y las coordenadas espaciales de los nodos y z la información vectorial de cada nodo, asociada a esas coordenadas. A partir de las notaciones de la Figura 2a, la ecuación utilizada fue:

$$\|\vec{g}\| = \sqrt{\left[\frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}\right]^2 + \left[\frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}\right]^2}$$

donde, E, W, N y S indican la posición relativa de los nodos vecinos del nodo del que parte el cálculo (z). De acuerdo con esta formulación, considerando los parámetros físicos vinculados a las conexiones espaciales horizontales, se obtuvo un mapa de vectores de conectividad, representado por medio de flechas con diferente dirección y magnitud (se generaron dos 'grids' con los mismos componentes cartesianos, x e y, y una dimensión z). En ambos casos el algoritmo matemático utilizado fue 'minimum curvature', que proporciona una superficie de interpolación a partir de un ajuste a un modelo lineal simple ('simple planar regression'), utilizando el método de los mínimos cuadrados (SMITH & WESSEL 1990): $Z(X,Y) = AX + BY + C$. El primer grid, que

contiene información sobre la variación altitudinal del territorio, permitió calcular la dirección de los flujos físicos, partiendo de zonas elevadas y dirigiéndose a zonas con menor altitud (Fig. 2b). En el segundo grid los valores de la dimensión z proceden del cálculo matricial realizado a partir de: 1) una matriz de varios miles de cuadrículas territoriales descritas por 49 variables abióticas que componen la conectividad física. Los elementos a_{ij} de esta matriz representan el valor porcentual espacial que toma la variable i en la observación j; y 2) un vector que representa la influencia en la ralentización de los flujos de agua de cada una de estas variables. Los componentes b_i de este vector indican el valor que presentan las variables físicas según su capacidad de retención de agua. El producto de la matriz por el vector ($\sum a_{ij} \times b_i$) da como resultado un nuevo vector cuyos elementos ab_j representan la 'capacidad de ralentización' de los flujos de agua de cada cuadrícula del territorio. Este nuevo vector representa la magnitud de los flujos físicos. El mapa final de vectores cuya dirección y magnitud representan la conectividad vinculada a fenómenos físicos procede, por tanto, de la combinación de dos 'grids' generados a partir de las mismas referencias espaciales.

Un parámetro incorporado para caracterizar la conectividad física debida a la ralentización del flujo hídrico en el terreno tiene que ver, junto a la pendiente de la ladera (Fig. 2b,c,d), con la 'infiltración' del agua que permite cada tipo de suelo. Esta característica se ha considerado equivalente a la fuerza de rozamiento de una masa deslizándose por un plano inclinado, formalizándose su cálculo a partir de las clases de valor asignadas a los tipos de suelos presentes en el territorio.

Por su parte, la formalización y cartografía de los procesos biológicos relacionados con tensiones energéticas entre fronteras asimétricas parte del cálculo de un único 'grid' inicial. Los componentes cartesianos x e y mantienen idénticas referencias espaciales que las implicadas en el cálculo de la conectividad derivada de flujos físicos, mientras que la dimensión z representa ahora los valores de la tasa de renovación de la vegetación asociada a cada cuadrícula. El algoritmo de interpolación utilizado ha sido el 'natural neighbour' (SIBSON

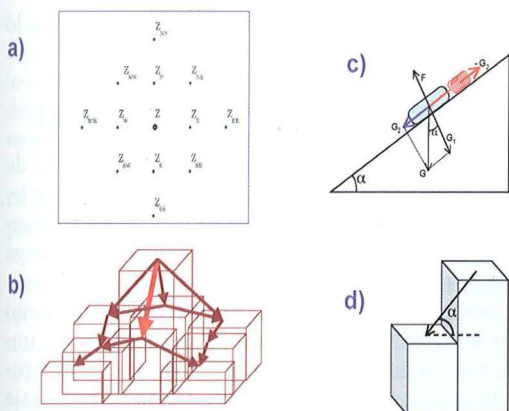


Figura 2. a) Configuración espacial y notación de los nodos utilizados en el cálculo diferencial del gradiente de variación de las características asociadas al 'grid' o regilla de referencia para cartografiar la conectividad horizontal del territorio. El nodo Z del centro del diagrama indica el punto del grid donde comienza el cálculo. b, d) Esquema de la variación de la intensidad y dirección del flujo. Si el parámetro representado depende de la altitud de cada cuadrícula del terreno, la dirección viene determinada por el mayor contraste de valor entre cuadrículas próximas, mientras que su longitud indica la magnitud del salto. La resultante de las posibilidades recogidas en la figura sería la flecha roja. c) Expresión del movimiento de una masa a lo largo de una superficie plana inclinada. G_1 representa la fuerza de ligadura (una fuerza normal que representaría la opresión de una superficie contra otra; G_2 es la fuerza de rozamiento, a la que podría equipararse la capacidad de retención del agua del suelo; la fuerza F equilibra a G_1 ; $F = G \cos \alpha$; $G_2 = G \sin \alpha$; $G_2 = G_1 \tan \alpha$). Se tiene que $G_2 = f G_1$; $f = \tan \alpha$, es decir, $f = G_2/G_1$, siendo f el coeficiente de rozamiento, que depende de la naturaleza de las superficies. Para incluir los componentes de la conectividad en el grid se usaron cuadrículas como referencia (b, d).

Figure 2. a) Spatial configuration and notation of the nodes used in the differential calculation of the gradient of variation of the characteristics associated with the grid. Node Z in the centre of the diagram indicates the point of the grid at which the calculation starts. b, d) Diagram of variation in intensity and flow direction. If the parameter represented depends on the altitude of each cell of the terrain, the direction is determined by the greater contrast in value between neighbouring cells, whereas their length indicates the magnitude of the leap. The one resulting from the possibilities shown in the figure would be indicated by the red arrow. c) Expression of movement of a mass over a tilted flat surface. G_1 represent the force of the link (a normal force that would represent the pressure of one surface against another; G_2 is the force of friction, which could be compared with the soil's capacity for water retention; force F balances G_1 ; $F = G \cos \alpha$; $G_2 = G \sin \alpha$; $G_2 = G_1 \tan \alpha$). Thus, $G_2 = f G_1$; $f = \tan \alpha$, that is, $f = G_2/G_1$, f being the friction coefficient, which depends upon the nature of the surfaces. In order to include the connectivity components in the grid, we used cells as a reference (b, d).

1981), basado en el valor de la media ponderada de las observaciones vecinas. El cálculo del gradiente de variación de los flujos horizontales a partir de derivadas direccionales, permite obtener un mapa de vectores representados por flechas cuya dirección viene determinada por el mayor contraste de valor entre nodos próximos y su longitud viene dada ahora por la magnitud de los flujos energéticos potenciales.

Finalmente, en la formalización y presentación cartográfica de los procesos biológicos relacionados con la movilidad de la fauna, se ha llevado a cabo un ensayo metodológico que parte de: 1) una matriz de 400 cuadrículas territoriales (10x10 km) descritas por 62 especies animales (en este caso a_{ij} indica la presencia-ausencia de cada una de estas especies en cada cuadrícula); y 2) un vector cuyos elementos b_i representan el valor de movilidad de las especies, según su pertenencia a las comunidades faunísticas descritas a partir de variables relacionadas con su facilidad de desplazamiento en función de la presencia de infraestructuras. El producto de la matriz por el vector ($\sum a_{ij} \times b_i$) da como resultado un nuevo vector cuyos elementos a_{bi} representan la movilidad potencial de la fauna estudiada en cada cuadrícula el territorio.

Interferencias malla ecológica-infraestructuras artificiales

Aunque la actividad agraria tradicional ha creado una estructura rural secularmente integrada en las tramas ecológicas naturales (BERNÁLDEZ 1991), habitualmente las modernas infraestructuras viarias se muestran, por el contrario, ajenas a los paisajes que atraviesan, causando serias disrupciones en su funcionamiento ecológico. Esto resulta además antieconómico. Algunos efectos primarios de las infraestructuras han sido ya descritos, entre ellos, la pérdida y transformación de hábitats, la mortalidad debida a atropellos, depredación, efecto barrera y de rechazo de la zona alterada, perturbación debida a la contaminación y 'efecto borde', accidentes con materias peligrosas e incendios, presencia de visitantes, dispersión de especies; todos los cuales contribuyen a la temida 'fragmentación del hábitat' (FORMAN *et*

al. 2003; ROSELL *et al.* 2003; VAN DER ZANDE *et al.* 1980).

red de conexiones ecológicas y se ha hecho lo mismo con la red viaria.

En territorios con paisajes eminentemente culturales, como ocurre en la cuenca mediterránea, permanecen aún bien conservados algunos ‘nodos’ donde convergen o divergen los flujos que mantienen buena parte de la conectividad biológica (bosques, montañas, humedales, ambientes esteparios, etc.). Superpuesta a los nodos e integrada con ellos existe una ‘matriz’ territorial agraria, urbana e industrial. Se cuenta con diferentes figuras de protección para estos nodos, considerados ‘reservorios de biodiversidad’ (SOULÉ 1991). Pero no se trata sólo de trazar las carreteras bordeando estos sitios porque contengan valores reconocidos, sino que las infraestructuras deben evitar generar disfunciones serias en las conexiones del tejido territorial. Además de nodos hay también ‘corredores’ apreciables a vista de pájaro, como sistemas fluviales, ciertas estructuras lineales, cuerdas montañosas, etc., que son frecuentemente consideradas como pasillos para la fauna. Pero también importan los otros procesos antes mencionados, que son de apreciación más difícil, como la circulación hidrológica subsuperficial o subterránea, el transporte de nutrientes en laderas, la dinámica rural propia del funcionamiento del paisaje cultural tradicional (BERNÁLDEZ 1991), etc. Merece, pues, la pena definir y caracterizar los ‘puntos de tensión’ entre esta red ecológica y la red viaria. En el proyecto, como se ha comentado, se ha tipificado primero y se ha cuantificado después la

Caracterización de la conectividad artificial

Para caracterizar la interferencia entre la red de infraestructuras humanas y el tejido ecológico territorial puede hacerse una tipificación y caracterización de esa red mediante parámetros cuya incidencia sea fácilmente contrastable con la dinámica de este tejido. La tarea no constituye aún una referencia habitual en los estudios de impacto ambiental, pero hay ya una cierta preocupación por las interferencias de los proyectos de carreteras (Tabla 1). La Instrucción de Carreteras (MINISTERIO DE FOMENTO 2000) y la tipología de las infraestructuras (COPT 2004) permiten seleccionar descriptores de su incidencia en la conectividad ecológica del entorno, estimar costes ambientales y producir ‘mapas de impactos’. Las actuales vías permiten apreciar en campo ‘tensiones’ entre la conectividad ecológica y la red artificial de transporte humano, analizar las causas de tales tensiones y preverlas en nuevos proyectos mediante procedimientos de estudio como los ensayados en este proyecto.

a) Interacción conectividad ecológica-infraestructuras. La interferencia entre la conectividad ecológica y la red de infraestructuras humanas de transporte se ha analizado mediante un conjunto de matrices de impacto, [C x R], donde C representa las características de la conectividad ecológica y R las de la red de infraestructuras.

Infraestructura	Ocupación de terreno	Radio en planta	Pendiente máxima	Movimiento de tierra	Efecto barrera	Interferencia en movilidad animal
Autopista	ALTO	ALTO	BAJA	ALTO	ALTO	ALTO
Carretera	MEDIO-ALTO	MEDIO	MEDIA	MEDIO-ALTO	MEDIO	MEDIO-ALTO
Tren de alta velocidad	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY BAJA	ALTO-MUY ALTO	MUY ALTO	ALTO
Ferrocarril	ALTO	ALTO	BAJA	ALTO	BAJO	BAJO
Canal	ALTO	BAJO	-	ALTO	MUY ALTO	MEDIO-ALTO
Tubería	BAJO	BAJO	ALTA	BAJO-MEDIO	NULO	NULO
Transporte por cable	-	-	MUY ALTA	MUY BAJO	-	-
Tendido eléctrico	-	-	ALTA	MUY BAJO	-	MEDIA

Tabla 1. Consideraciones básicas en la caracterización de infraestructuras de transportes respecto a su incidencia ambiental.

Table 1. Basic considerations on the characterization of transport infrastructure regarding to its environmental impact.

Los elementos de esta matriz representan las incidencias de las características de esta red sobre los componentes de la conectividad ecológica, descrita a través de los fenómenos y procesos comentados.

La conectividad se ha estudiado por separado para fenómenos físicos, asimetrías generadas por fronteras ecológicas y trasiego de la fauna. Para cada uno de estos tres tipos de conectividad se ha descrito la incidencia de una docena de descriptores que caracterizan tipos de cortes por estructuras lineales en los flujos de la conectividad (plataforma, cerramiento, desmonte, terraplén, velocidad máxima de la vía, radio de curvatura en planta y acurvo vertical, cuneta, préstamo, caballero, berma y vía de servicio). La incidencia se analizó por separado para autopistas y autovías, para carreteras y vías rápidas y para caminos y vías pecuarias. En cada una de estas vías los descriptores tienen una relevancia diferente (por ejemplo, el radio de curva es mucho mayor en una autopista que en un camino, las primeras llevan vallados y éstos no, etc.). Se hicieron, pues, 36 análisis diferentes para cada uno de los tipos de conectividad (12 características x tres clases de infraestructuras) y, de esta manera, 108 tipos de interacciones (36 análisis x 3 tipos de conectividad). Los resultados se presentaron en mapas que indican el grado de incidencia del descriptor y la clase de infraestructura sobre la conectividad ecológica, mediante vectores asociados a cuadrículas que cubrieron todo el territorio. Cada vector es el resultado de los componentes de la conectividad y ha sido representado en el mapa con la dirección resultante del flujo y la importancia del mismo. En el caso de la conectividad derivada del trasiego de la fauna la información disponible ha permitido disponer de unidades territoriales referidas sólo a cuadrículas muy grandes (10x10 km).

La valoración y diagnóstico de la conectividad se llevó a cabo mediante variantes de métodos previamente aplicados en estudios de impacto (MONTALVO *et al.* 1993; RUIZ-LABOURDETTE *et al.* 2009). Se ha valorado cada uno de los componentes de la conectividad de acuerdo con una 'escala de referencia' jerárquica u ordinal (DASGUPTA & PEARCE 1972) que permitió asignar,

dentro de cada componente de la conectividad, un 'valor actual' relativo. La valoración tuvo en cuenta el 'interés naturalístico' y la 'estabilidad' de los fenómenos que componen la conectividad, así como la 'reversibilidad' ('resiliencia') ecológica en caso de una afección grave. Fue posible diferenciar ordinalmente un número determinado de clases de valor en relación con su aportación a la conectividad para los distintos componentes considerados –pendiente media de las laderas presentes en cada cuadrícula (6 clases), orientación resultante del terreno (5), infiltración edáfica media (7), grado medio ponderado de asimetría de las fronteras (6) y movilidad de la fauna registrada en la cuadrícula (8), etc.–. En el caso de la valoración ordinal otorgada a la precipitación media primaveral en el área contemplada, ésta varió desde 6 (56,7-71,8 mm óptima para el área de estudio) a 1 (109,9-125,4 mm), considerada como la peor por la incapacidad del terreno para retener el flujo hídrico y evitar la erosión. El valor de 3 se asignó tanto por defecto (escasa precipitación, 34-41,5 mm) como por exceso (87,1-94,6 mm; precipitaciones mayores se consideraron excesivas para la tipología de los suelos del área y se valoraron menos).

Valorado cada uno de los componentes de la conectividad, la escala jerárquica u ordinal de referencia permitió asignar para cada componente de la conectividad un 'valor final' (el nuevo lugar que ocuparía la clase en cuestión en esa escala) tras estimar la afección que cada característica de la infraestructura provocaría en el funcionamiento inicial de la conectividad. Esta estima se hizo a partir de situaciones reales observadas en el territorio en numerosos recorridos detallados de campo. Así, para cada componente de la conectividad y característica de la infraestructura, el 'impacto', Δv , se calculó como la diferencia entre el valor final, v_f , y el actual, v_a , es decir, $\Delta v = v_f - v_a$. Este coste ambiental se estimó considerando, por un lado, la modificación de los flujos de materia que mantienen la conectividad y, por otro, la ruptura de esos flujos. En el primer caso, se ha tenido en cuenta que la naturaleza tiende a ralentizar esos flujos y a generar una permanencia duradera de la energía, el agua y otros materiales dentro de las estructuras ecológicas. Dentro de los condicionantes impuestos en cada lugar

por el sustrato, la topografía y el clima, la interferencia se entiende como una alteración del papel desempeñado por la biomasa, el suelo o la vegetación (todos suponen una intercepción hídrica) en esa ralentización. Por ejemplo, el talud de una carretera provoca el drenaje del agua contenida en los suelos de la ladera afectada por el trazado de aquélla y modifica la conectividad que el flujo laminar subsuperficial mantenía la ladera abajo. En otros casos de ruptura de flujos, la interferencia de una carretera se entiende como el impedimento a los trasiegos energéticos a través de fronteras ecológicas asimétricas o a la movilidad de la fauna.

En el estudio de caso contemplado, los costes derivados del trazado de las infraestructuras se han estimado como pérdidas de valor producidos en cada uno de los puntos de la red regular de cuadrículas. Los resultados de estos costes se han expresado cartográficamente, indicándose para cada punto el resultado de la afección de la conectividad. Esta afección se ha definido por su dirección e importancia.

En las matrices de impacto antes mencionadas, $[C \times R]$, los costes estimados por la afección de las infraestructuras de transporte (Δv) se refieren a la modificación o ruptura de los flujos en cada punto del territorio.

Se ha calculado el impacto temático o 'parcial' – la pérdida de valor ocasionada por una característica dada de las infraestructuras sobre un único componente de la conectividad– y el impacto 'ambiental' o integrado –el ocasionado por esa característica sobre el conjunto de componentes de la conectividad–. La importancia relativa de las características de las infraestructuras en el impacto ambiental se ha obtenido a través del cálculo de los coeficientes, b_i , de un modelo de regresión lineal (MONTALVO *et al.* 1993; RUIZ-LABOURDETTE *et al.* 2009),

$$I_R = b_1 \Delta v_{C1} + b_2 \Delta v_{C2} + b_3 \Delta v_{C3} + \dots + b_n \Delta v_{Cn}$$

donde I_R es el impacto ambiental producido por la característica R de una infraestructura de transporte dada y b_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) son los coeficientes indicadores del grado en que la pérdida de valor ocasionada por la característica R afecta

relativamente a cada uno de los n componentes de la conectividad. Δv_{Ci} es el impacto parcial estimado en esos componentes C_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$). La suma ponderada que ofrecen estos coeficientes evita el problema de agregar los diferentes componentes en que se ha descompuesto la conectividad: un proceso descrito a través de cualidades heterogéneas. Se calculó una ecuación de regresión para cada característica de las infraestructuras. Los coeficientes b_i se calcularon como las incógnitas de un sistema de ecuaciones donde Δv_{Ci} son los valores de los impactos parciales de una característica dada de la infraestructura, estimados para cada cuadrícula del territorio, e I_R el rango que corresponde en una escala de referencia elaborada a partir de un conjunto de 50 cuadrículas del territorio, seleccionadas sistemáticamente por ser bien conocidas por su sensibilidad y resistencia a los componentes de las infraestructuras consideradas, y otras 50 cuadrículas seleccionadas al azar. Ese rango corresponde a una 'escala de sacrificio' elaborada para ese conjunto de cuadrículas en función de los valores de sus componentes de conectividad. Para el cálculo de las regresiones los valores de Δv_{Ci} se han estandarizado como $\Delta v_{Ci} / v_a$, señalándose el valor del impacto de la actividad considerada en cada componente de la conectividad respecto a su valor actual (inicial), es decir, el valor que ha perdido respecto al que tenía.

b) Directrices técnicas generales. El impacto ambiental de cada característica de las infraestructuras para cada componente de la conectividad se ha presentado mediante un mapa de impactos y una ecuación de regresión cuyos coeficientes llaman, pues, la atención sobre el daño relativo producido por la infraestructura en cada componente de la conectividad. Este coeficiente sirve además para dirigir la atención al elaborar unas directrices para las empresas constructoras que minimicen el impacto ambiental de la infraestructura en cada punto de la franja preliminar por la que se prevé su trazado.

En general puede decirse que para entender bien la secuencia de las decisiones y acciones que surgen con la iniciativa de hacer una carretera hasta llegar al comienzo de las obras, "deben asimilarse

los conceptos y contenidos de los trabajos que, de modo progresivo, van dando lugar a documentos que terminan en un proyecto de construcción" (MORILLA ABAD 1996). En la actualidad carecería de sentido ignorar las consideraciones ambientales en la elaboración de tales documentos. En el caso particular de las infraestructuras de transporte, la incorporación de la idea de tejido territorial y, en consecuencia, la formalización de los diferentes componentes de la conectividad ecológica y de las interferencias que causan en ella los proyectos constructivos constituyen hoy en día una labor de transdisciplinariedad que resulta ya ineludible.

Conectividad versus población local: conexiones 'verticales'

Se comentó antes que uno de los procesos socio-culturales que en la actualidad implican un mayor condicionamiento del paisaje es el desarrollo de infraestructuras humanas de transporte. En el territorio existe también otra interacción, considerada 'vertical', entre sociedad humana y paisaje que puede ser formalizada (Fig. 1a₁, b₁). En las últimas décadas el paisaje cultural resultante viene sufriendo drásticos cambios que son bien apreciables particularmente en la cuenca Mediterránea. Este paisaje, resultado de políticas de gestión que evolucionan con circunstancias socioeconómicas y políticas, lógicamente cambia cuando éstas también cambian. En España y Portugal, por ejemplo, la agricultura se ha industrializado y, paralelamente, algunas comarcas, cada vez más numerosas por ahora, se han abandonado (VARELA 2000). Es oportuno, pues, analizar la correspondencia entre los planos socioeconómico y paisajístico para conocer las variables determinantes de su interdependencia y plantear escenarios de cambio socioeconómico.

Para caracterizar la conectividad 'vertical' se ha analizado espacialmente el paisaje diferenciándose unidades territoriales y se ha formalizado la correspondencia entre su estructura multivariante y la estructura socioeconómica de la población humana local (SCHMITZ *et al.* 2003; SCHMITZ *et al.* 2005; DE ARANZABAL *et al.* 2008; RUIZ-LA-BOURDETTE *et al.* 2010). En los casos estudiados

se ha elaborado previamente una base cartográfica basada en la co-ocurrencia y correlación entre componentes físicos del territorio (clima, topografía, litología). Estos componentes se han integrado mediante un procedimiento que caracteriza la tendencia de variación física del ambiente e incorpora a ésta la dependencia biológica y rural cultural. Así se ha hecho una sectorización ecológica jerárquica del territorio, disponiéndose de un mapa que refleja las variables de mayor poder descriptor. Disponer de un mapa de este tipo no constituye hoy un objetivo novedoso –aunque lo es el procedimiento de elaboración–, sino un material de partida para describir la conectividad como aportación original.

En los estudios que el proyecto ha contemplado se ha desarrollado un procedimiento exploratorio de las relaciones multivariantes de conjuntos de variables que se manifiestan a diferentes escalas espaciales, basado en el concepto ecológico de la 'organización jerárquica' de los sistemas naturales. Así se han considerado y analizado diferentes matrices y submatrices numéricas con datos territoriales, vinculadas espacialmente, que describen la variabilidad de una región a diferentes niveles jerárquicos. La obtención de matrices de este tipo requiere la incorporación previa de conjuntos de datos de partida a un sistema de representación espacial georreferenciado (ARCVIEW 1996), que permita la integración de la información temática. Pueden obtenerse así mapas vectoriales de partida, compuestos por polígonos cualitativamente diferentes en cuanto a su composición de variables. Para cuantificar esta información pueden utilizarse rejillas en cuyas celdas puede anotarse el porcentaje de cobertura de las variables descriptoras consideradas. Se obtienen así matrices de datos cuantitativos formadas por numerosas cuadrículas o unidades mínimas territoriales y docenas de clases de variables temáticas. El procedimiento de cálculo aplicado utiliza de forma complementaria y sucesiva las técnicas factoriales de clasificación (SPAD.N 2000) y agregación (WARD 1963).

Interdependencia paisaje-socioeconomía

Para analizar y formalizar esta interdependencia (Fig. 1a₁, b₁), el paisaje cultural puede estudiarse seleccionando las variables territoriales más di-

rectamente relacionadas con el manejo del territorio, eliminando otras que, aunque son buenos indicadores de la estructura del paisaje, no dependen de los usos humanos (litología, geomorfología o variabilidad climática).

Las características del paisaje de una comarca pueden ser descritas tomando como observaciones al conjunto de sus municipios. Este conjunto puede tratarse mediante análisis multivariantes de ordenación, permitiendo ordenarlo en un plano cuyas dimensiones son funciones de las variables espaciales más representativas o de mayor peso en el análisis. Estas dimensiones representan las principales tendencias de variación de la tipología de paisajes del territorio referida al conjunto de sus municipios.

Para formalizar la relación paisaje-socioeconomía se han seguido procedimientos previamente desarrollados (SCHMITZ *et al.* 2003; SCHMITZ *et al.* 2005; DE ARANZABAL *et al.* 2008; RUIZ-LABOURDETTE *et al.* 2010) que permiten obtener modelos de regresión múltiple que indican la dependencia entre esas estructuras mediante un número limitado de variables socioeconómicas. Éstas, según la bondad de ajuste obtenido, pueden explicar gran parte de la variación de la estructura del paisaje. Las variables obtenidas son las que mejor relación guardan con la configuración del territorio y su importancia viene dada por sus coeficientes de regresión. Las coordenadas de los municipios en los dos primeros ejes de un plano de ordenación, obtenido a partir del análisis de la estructura del paisaje, pueden tomarse como variables dependientes en un modelo de regresión múltiple por pasos, en el que las variables independientes sean descriptores socioeconómicos municipales. El modelo de ajuste entre las variables sigue la expresión general:

$$y_i = a + bs_1 + cs_2 + ds_3 + \dots + zs_n$$

donde y_i representa la tendencia de variación del paisaje, a la intercepción, s_i las variables socioeconómicas y b, c, d, \dots, z los coeficientes de regresión obtenidos.

Se han obtenido así ecuaciones para cada eje calculado. Cada una de éstas proporciona el número

óptimo de variables socioeconómicas, su importancia y signo en la variabilidad paisajística descrita, para estudiar la interdependencia, usándose como unidades a los municipios. Las ecuaciones sirvieron para establecer diferentes escenarios de cambio socioeconómico e indicar su influencia en el paisaje.

CONCLUSIÓN

Se ha formalizado un conjunto de fenómenos que constituyen buena parte de la conectividad ecológica territorial. Esta propiedad funcional del espacio se ha expresado cartográficamente a una escala de ensayo adecuada. El detalle de esta escala permite comprender globalmente el proceso, pues los territorios piloto contemplados tienen la suficiente variabilidad climática, topográfica, biológica y de usos rurales como para comparar la variación de los fenómenos estudiados. El trabajo ha consistido esencialmente en una labor experimental, en buena medida de carácter académico, que persigue establecer un procedimiento general de actuación (I+D) que puede aplicarse a escalas de mayor detalle –disponer del ‘know how’ para trabajos con fines aplicados.

Se ha comparado la interferencia entre la trama ecológica y la que establece la red de infraestructuras de transporte, aportándose información cartográfica. El modelo de estudio aplicado permite conocer la importancia relativa de la incidencia potencial de cada actividad relacionada con esta red en el mantenimiento de aquella trama. De esta forma se ha dispuesto de unas indicaciones a tener en cuenta para establecer directrices de ‘buenas prácticas’ en el desarrollo del transporte terrestre. Para ellas puede tomarse como referencia la conservación de la trama ecológica territorial.

En síntesis, puede decirse que los fenómenos físicos y procesos ecológicos que mantienen las conexiones espaciales del territorio deben constituir los objetivos clave de la moderna conservación de la naturaleza. La idea debe contemplarse tanto dentro de los ENP como fuera de ellos, compromete a la gestión de los suelos, al ciclo hidrológico y a las tramas biológicas y culturales rurales.

La coincidencia encontrada 'afección a la conectividad-espacio protegido' refleja probablemente peculiaridades mesoclimáticas y topográficas de estos espacios respecto al resto del territorio que son sensibles al trazado de infraestructuras. La circunstancia invita a iniciar la práctica de técnicas de restauración de la conectividad precisamente en los espacios considerados naturalísticamente más valiosos, extrapolándose la experiencia al resto del territorio.

Se ha tratado también la conectividad 'vertical' paisaje-socioeconomía en áreas piloto. Desde esa perspectiva, en los territorios piloto estudiados se detectan dos tendencias en el paisaje cultural: la debida a la variación desde el carácter urbano al rural y la variabilidad interna del territorio agrario. Esto ocurre casi de igual forma tanto en los espacios protegidos como en la matriz territorial que los rodea. El abandono rural es patente sobre todo en algunos territorios forestales, está frecuentemente caracterizado por la 'matorralización' y no es sorprendentemente que se muestre notablemente asociado a espacios naturales protegidos.

Jurídicamente hay importantes lagunas que impiden conservar eficazmente la conectividad. No

obstante, las leyes y normativas existentes ofrecen posibilidades no llevadas a la práctica. Tanto éstas como las nuevas leyes y normativas apropiadas que es necesario desarrollar deben aplicarse con decisión a la conservación de la conectividad.

Es probablemente conveniente establecer un 'observatorio de la conectividad ecológica territorial', OCET. Es decir, disponer de una institución independiente que maneje información sobre los fenómenos físicos, biológicos y rurales-culturales que mantienen las conexiones ecológicas esenciales del territorio. Esta institución podrá evaluar permanentemente la importancia de estas conexiones, detectar lugares de tensión con actividades humanas y calificarlas jurídicamente. El observatorio llevaría a cabo declaraciones de conectividad ante obras e instalaciones públicas y privadas, así como ante escenarios de cambios socioeconómicos, de manera homóloga a las actuales 'declaraciones de impacto ambiental'.

Las consideraciones anteriores podrían traducirse a una renovación de los criterios habituales de la planificación ambiental y la conservación de la naturaleza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, G., BAULIES, X. *et al.* 2006. Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causados por infraestructuras de transporte. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- ALLEN, T.F.H. & STARR, T.B. 1982. Hierarchy. Universidad de Chicago Press. Chicago.
- ARCVIEW. 1996. Geographic Information System. V.3.3. Environmental Systems Research Institute. Berkeley.
- BAGUETTE, M. & VAN DYCK, H. 2007. Landscape connectivity and animal behaviour: functional grain as a key determinant for dispersal. *Landscape Ecology* 22: 1117-1129.
- BASCOMPTE, J., JORDANO, P. & OLESEN, J.M. 2006. Asymmetric Coevolutionary Networks Facilitate Biodiversity Maintenance. *Science* 312: 431-435.
- BENNETT, G. (ed.). 1991. EECONET towards a European Ecological Network. Institute for European Environmental Policy. CE, Arnhem.
- BENNETT, G. (ed.). 1994. Conserving Europe's Natural Heritage. Towards a European Ecological Network. Graham & Trotman/M.Nijhoff, International Environment Law & Policy Series. Dordrecht.
- BERNÁLDEZ, F.G. 1991. Diversidad biológica, gestión de ecosistemas y nuevas políticas agrarias. En: Pineda, F.D., De Miguel, J.M., Casado, M.A. & Montalvo, J. (eds.) *Diversidad Biológica/Biological Diversity*. SCOPE, WWF-ADENA, F. Areces. Madrid.
- BERNÁLDEZ, F.G., REY BENAYAS, J.M. & MARTÍNEZ, A. 1993. Ecological impact of groundwater extraction on wetlands. *Journal of Hydrology* 141: 219-238.

- BUREL, F. & BAUDRY, J. 2001. *Ecologie du paysage: concepts méthodes et applications*. Tec Doc-Lavoisier. París.
- CONNELL, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199: 302-1310.
- COPT (Consejería de Obras Públicas y Transportes). 2004. *Primer Curso de Dirección Ambiental de Obras de Ingeniería Civil, Colegio de Caminos Canales y Puertos de Andalucía Occidental*. Junta de Andalucía. Sevilla.
- DASGUPTA, A.K. & PEARCE, D.W. 1972. *Cost Benefit Analysis*. Macmillan. New York.
- DE ARANZABAL, I., SCHMITZ, M.F., AGUILERA, P. & PINEDA, F.D. 2008. Modelling of landscape changes derived from the dynamics of socio-ecological systems. A case of study in a semiarid Mediterranean landscape. *Ecological Indicators* 8: 672-685.
- DE JUANA, E., PINEDA, F.D., HEDO, D., HERNÁNDEZ, S., NARDIZ, C. & VALERO, M.A. 1999. *Marco Director de Carreteras: Metodología para el establecimiento de los Criterios Ambientales a incluir en los Estudios de Carreteras. Cartografía básica Medioambiental. Informe para la Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes, Ministerio de Fomento*. Madrid.
- DÍAZ-PINEDA, F. (dir.). 1984. *Estudio ecológico del Valle y Estuario de la Ría de Mundaca-Guernica (Vizcaya)*. Sociedad de Ciencias Aranzadi. San Sebastián. 3 vols [1982-84]. 1.209 pp. 30 mapas temáticos. [Documento base para la creación de la Reserva de la Biosfera de Urdabai. MaB. UNESCO, París, 1984.]
- DÍAZ-PINEDA, F., & PECO, B. 1988. Pastizales adehesados de El Pardo. *Mundo Científico, La Recherche (España)* 79: 386-395.
- DÍAZ-PINEDA, F. (dir.). 2010a. *Estudio Ambiental para el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de la Propuesta de Parque Nacional de Fuerteventura en su Fase I*. Cabildo de Fuerteventura-Universidad Complutense de Madrid.
- DÍAZ-PINEDA, F. (dir.). 2010b. *Informe del Estudio de Impacto Ambiental de la carretera M-61, análisis de la conectividad espacial, estudio sociológico e identificación de condicionantes ambientales de la infraestructura*. Comunidad de Madrid-TECNOMA. Madrid.
- ELOSEGI, A. & SABATER, S. (eds). 2009. *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA-Rubens Eds. Bilbao.
- FORMAN, R., SPERLING, D., BISSONETTE, J., CLEVINGER, A., CUTSHALL, C., DALE, V., FAHRIG, L., FRANCE, R., GOLDMAN, C., HEANUE, K., JONES, J., SWANSON, F., TURRENTINE, T. & WINTER, T. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press. Washington.
- FORMAN, R.T.T. & GODRON, M. 1981. Patches and structural components for a landscape ecology. *BioScience* 31: 733-740.
- FORMAN, R.T.T. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley, New York.
- FORTESCUE, J.A.C. 1980. *Environmental Geochemistry*. Springer Verlag, Berlin.
- GARCÍA MORA, M.R. (coord.). 2003. *Conectividad ambiental: las áreas protegidas en la Cuenca Mediterránea*. Publicaciones de la Junta de Andalucía. Sevilla.
- GESSNER, M.O. & CHAUVET, E. 2002. A case for using litter breakdown to assess functional stream integrity. *Ecological applications*, 12: 498-510.
- GLAZOVSKAYA, M.A. 1963. On geochemical principles of the classification of natural landscapes. *Internat. Geological Review* 5: 1403-1431.
- GONZÁLEZ-BERNÁLDEZ, F. (dir.). 1980. *Estudio ecológico del sector NW de Madrid (El Pardo)*. COPLACO. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 4 vols [1979-80]. 651 pp, varios mapas.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. 1981. *Ecología y paisaje*. 256 pp. Blume. Madrid.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F., SANCHE ROYO, F & GARCÍA NOVO, F. 1973. Analyse des réactions face au paysage naturel. *Options Méditerranéennes* 17: 66-81.
- HERNÁNDEZ, S. & PINEDA, F.D. 1998. *Ferrocarril de alta velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa. Directrices para la restauración ambiental del trazado*. Gestor de Infraestructuras Ferroviarias, GIF. Ministerio de Fomento. Madrid.
- HERVÁS, I. SUÁREZ, F., MATA, C., HERRANZ, J., MALO, J.E. & CARRILES, E. 2006. *Pasos de fauna para vertebrados*. CEDEX. Madrid.

- HILTY, J.A., LIDICKER, W.Z.JR. & MERENLENDER, A.M. 2006. Corridor Ecology. Island Press. London.
- HRUBY, T. 1999. Assessments of Wetland Functions: What They Are and What They Are Not. *Environmental Management* 23(1): 75-85.
- JORDANO, P. *et al.* 2003. Invariant properties in coevolutionary networks of plant-animal interactions. *Ecological Letters* 6: 69-81.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. 2007. Libro Blanco de las Carreteras y los Espacios Naturales Protegidos de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transporte, Junta de Andalucía. Sevilla.
- LASSALETTA, L., GARCÍA-GÓMEZ, H., GIMENO, B.S. & ROVIRA, J.V. 2009. Agricultura-induced increase in nitrate concentrations in stream waters of a large Mediterranean catchment over 25 years (1981-2005). *Science of the Total Environment*, en prensa.
- LIMBORG, G., FORMAN, J. & VINDRET, C. 2007. WWF WorldWide Overview. WWF. Gland.
- LÓPEZ CADENAS, F. (coord.). 1994. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. TRAGSA-Mundi Prensa. Madrid.
- LLAMAS, M.R. 1988. Conflicts Between Wetland Conservation and Groundwater Exploitation. *Environmental Geology and Water Science*. 11(3): 241-251.
- MARGALEF, R. 1991. Teoría de los sistemas ecológicos. Publicaciones de la Universidad de Barcelona, Barcelona.
- MARTÍN-LÓPEZ, B., MONTES, C. & BENAYAS, J. 2007. The non-economic motives behind the willingness to pay for biodiversity conservation. *Biological Conservation* 139: 67-82.
- MINISTERIO DE FOMENTO. 2000. Anexo a la Norma 3.1-IC-Trazado, de la Instrucción de Carreteras.
- MONTALVO, J. 1998. Conectividad. *Ecosistemas* 24: 38-39.
- MONTALVO, J., RAMÍREZ, L., DE PABLO, C.T.L. & PINEDA, F.D. 1993. Impact Minimization through Environmentally-based Site Selection. Multivariate approach. *Journal of Environmental Management* 38: 13-25.
- MORILLA ABAD, I. 1996. Guía Metodológica y Práctica para la realización de Proyectos. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.
- MÚGICA, M., DE LUCIO, J.V. *et al.* 2002. Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos. RENPA, Junta de Andalucía. Sevilla.
- NAEEM, S., THOMPSON, L.J., LAWLER, S.P., LAWTON, J.H. & WOODFIN, R.M. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368: 734-737.
- NEUMANN, J. VON & MORGENSTERN, O. 1953. Theory of games and economic behaviour. Princeton University Press. Princeton.
- NOWICKI, P., BENNET, G. & MIDDLETON, D. (eds.). 1996. Perspectives on ecological networks. ECNC. Series Man and Nature Vol.1. Arnhem-Tilburg.
- PAINE, R.T. 1974. Intertidal community structure. *Oecologia* 15: 93-120.
- PFADENHAUER, J. & GROOTJANS, A. 1999. Wetland restoration in Central Europe: aims and methods. *Applied Vegetation Science* 2: 95-106.
- PINEDA, F.D. & BARTUREN, R. 1988. Estudio ecológico de la Ría de Guernica-Mundaka (Vizcaya). En: Univ. País Vasco (ed.) *Biología Ambiental*. Vol. I. pp. 303-312. Euskal Mundu-Biltzarra. Bilbao.
- PINEDA, F.D. & SCHMITZ, M.F. 2003. Tramas espaciales del paisaje. Conceptos, aplicabilidad y temas urgentes para la planificación territorial. En: García Mora, M.R. (coord.) *Conectividad ambiental: las áreas protegidas en la Cuenca Mediterránea*. pp. 9-28. Publicaciones de la Junta de Andalucía. Sevilla.
- PINEDA, F.D. (dir.). 1984. Estudio ecológico del Valle y Estuario de la Ría de Mundaca-Guernica (Vizcaya) 3 vols. 1.209 pp. Sociedad de Ciencias Aranzadi. San Sebastián. [Documento base de la Reserva de la Biosfera de Urdabai. Gobierno Vasco. Programa MaB español. UNESCO.París.].
- PINEDA, F.D. 2003. Paisaje y Territorio. En: García-Orcoyen, C. (Coord.). *Mediterráneo y Medio Ambiente. Mediterráneo Económico*. Vol. 4. Instituto de Estudios Cajamar. Almería.
- PINEDA, F.D. *et al.* (Grupo de análisis ambiental. Depto. de Ecología, Univ. de Sevilla). 1974. Terrestrial eco-systems adjacent to large reservoirs. Ecological survey and impact diagnosis. En: International Commission on Large Dams, ICOLD. Madrid. 98 pp. Monogr. de la Dirección General de Obras Hidráulicas. Madrid.

- PINEDA, F.D., SCHMITZ, M.F. & HERNÁNDEZ, S. 2002. Interacciones entre infraestructuras y conectividad natural del paisaje. En: I Congr. Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Col. Ing. C.C. y Puertos, Madrid.
- PINEDA, F.D., SCHMITZ, M.F., DE ARANZÁBAL, I. & ÁLVAREZ, M.C. 2006. Conectividad territorial. Procesos horizontales del paisaje e interferencias del transporte humano. *Carreteras* 20: 3-18.
- RAPOPORT, A. 1970. N-Person Game Theory. University of Michigan Press Ann Arbor. Michigan.
- RESCIA, A.J., SCHMITZ, M.F., MARTÍN DE AGAR, P., DE PABLO, C.L., ATAURI, J.A. & PINEDA, F.D. 1994. Influence of landscape complexity and land management on woody plant diversity in Northern Spain. *Journal of Vegetation Science* 5: 505-516.
- REY BENAYAS, J.M., BERNÁLDEZ, F.G., LEVASSOR, C. & PECO, B. 1990. Vegetation of groundwater discharge sites in the Douro basin, central Spain. *Journal of Vegetation Science* 1: 461-466.
- ROSELL, C., ÁLVAREZ, G., CAHIL, S., CAMPENY, R., RODRÍGUEZ, A. & SÉILER, A. 2003. COST 341. La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España. *Naturaleza y Parques Nacionales, Serie técnica*. Dirección Gral. De Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- RUITER, P.C. DE, WOLTERS V., MOORE, J.C. & WINEMILLER, K.O. 2005. Food Web Ecology: Playing Jenga and Beyond. *Science* 309: 8-10.
- RUIZ-LABOURDETTE, D., DÍAZ, P., RODRÍGUEZ, A.J., SANTANA, A., SCHMITZ, M.F. & PINEDA, F.D. 2010. Scales and scenarios of change in the anthropology-landscape relationship: models of cultural tourism in Fuerteventura (Canary Isles). En: Fevrou, S., Brebbia, C.A. & Querini, G. (eds.). *Islands 2010*. WIT press. London, en prensa.
- RUIZ-LABOURDETTE, D., SCHMITZ, M.F., MONTES, C. & F.D. PINEDA. 2009. Zoning a Protected Area: proposal based on a multi-thematic approach and final decision. *Environmental Monitoring and Assessment*, en prensa.
- SANCHO ROYO, F. 1974. Actitudes ante el paisaje. Estudio experimental. 295 pp. *Anales de la Universidad Hispalense, Serie Ciencias* 19. Sevilla.
- SCHMITZ, M.F., DE ARANZÁBAL, I., AGUILERA, P., RESCIA, A. & PINEDA, F.D. 2003. Relationship between landscape typology and socioeconomic structure. Scenarios of change in Spanish cultural landscapes. *Ecological Modelling* 168: 343-356.
- SCHMITZ, M.F., PINEDA, F.D., CASTRO, H., DE ARANZÁBAL, I. & AGUILERA, P. 2005. Cultural landscape and socioeconomic structure. Environmental value and demand for tourism in a Mediterranean territory. Junta de Andalucía. Sevilla.
- SCHMITZ, M.F., SÁNCHEZ, I.A. & DE ARANZÁBAL, I. 2007. Influence of management regimes of adjacent land uses on the woody plant richness of hedgerows in Spanish cultural landscapes. *Biological Conservation* 135: 542-554.
- SCHWARTZ, A. 1974. *Calculus and Analytic Geometry*. Holt, Rinehart and Winston. New York.
- SEIT (Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes). 1999. *Marco Director de Carreteras. Cartografía Básica Medioambiental*. Ministerio de Fomento. Madrid.
- SIBSON, R. 1981. A brief description of natural neighbor interpolation. In: Barnett, V. (ed.). *Interpreting Multivariate Data*. John Wiley and Sons. New York.
- SMITH, W.H.F. & WESSEL, P. 1990. Gridding with continuous curvature splines in tension. *Geophysics* 55 (3): 293-305.
- SOLNTSIEV, V.N. 1974. O niekotorikh fundamentalnykh svoistakh gheosistemnoi struktury. En: *Methody kompleksnykh issledovaniy gheosistem*. Akademya Nauk SSSR. Irkutsk.
- SOULÉ, M.E. 1991. Conservation: tactics for a constant crisis. *Science* 253: 744-750.
- SPAD.N. 2000. *Système portable pour l'analyse des données*. Ver. 4.5. CISIA Montreuil Cedex. France.
- STERLING, A. 1996. *Los sotos, refugios de vida silvestre*. Publs. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- SUÁREZ CARDONA, F. 1989. *Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental*. 1. Carreteras y Ferrocarriles. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- SURFER. 2002. *Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers*. V8. Golden Software, Inc. USA.

- VAN DER ZANDE, A.N., TER KEURS, W.J. & VAN DER WEIJDEN, W.J. 1980. The impact of roads on the densities of four bird species in an open field habitat – evidence of a long-distance effect. *Biological Conservation* 18: 299-321.
- VARELA, C. 2000. The common agricultural policy and the environment: conceptual framework and empirical evidence in the Spanish agricultura. En: Antle, J., Lekakis, J., Zantias, G. (eds.): *European Agriculture at the Crossroads: Competition and Sustainability*. Edward Elgar. London.
- WARD, J. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* 58: 238-244.